

(11)Publication number : 09-293897

(43)Date of publication of application : 11.11.1997

(51)Int.Cl. H01L 33/00  
H01L 21/20  
H01S 3/18

(21)Application number : 08-107834

(71)Applicant : SANYO ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 26.04.1996

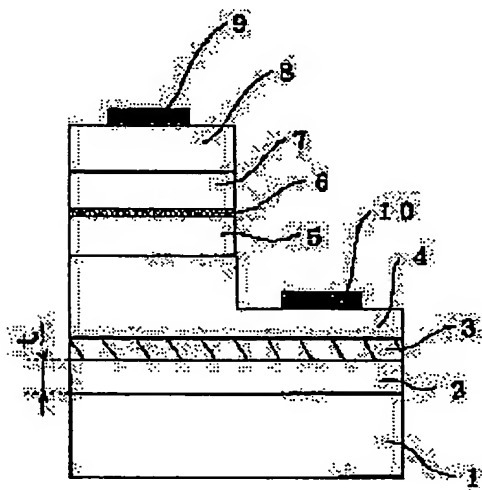
(72)Inventor : KANO TAKASHI  
KUNIZATO TATSUYA  
UEDA YASUHIRO  
MATSUSHITA YASUHIKO  
YAGI KATSUMI

**(54) SEMICONDUCTOR ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce the number of pits and provide a flatly grown layer, by stacking a buffer layer made of a III-V nitride semiconductor and a single crystal underlying layer made of an undoped III-V nitride semiconductor onto a substrate in this order.

**SOLUTION:** After a non-single crystal AlGaN or AlN buffer layer 2 is formed on a substrate 1 in close contact thereto at a non-single crystal growth temperature, the temperature is raised to a single crystal growth temperature to form an undoped single crystal underlying layer 3 on the buffer layer 2 in close contact thereto. Therefore, the number of pits may be reduced, and the single crystal underlying layer 3 having excellent crystallinity, surface property and flatness may be

formed. As a result, the crystallinity, flatness and surface property of a grown layer made of a III-V nitride semiconductor formed on the underlying layer 3 are improved, and a good p-type layer may be obtained. Thus, the manufacturing yield of the semiconductor element may be significantly improved. In the case where the semiconductor element is a light-emitting device, a high optical output is enabled.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 26.06.2000

[Date of sending the examiner's decision of 16.03.2004 rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3778609

[Date of registration] 10.03.2006

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2004-007830

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 15.04.2004

[Date of extinction of right]

[Claim(s)]

[Claim 1] The semiconductor device characterized by having the single crystal substrate layer which consists of a buffer layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor on a substrate, and an III-V group nitride system semi-conductor of undoping in the semiconductor device which consists of an III-V group nitride system semi-conductor in this sequence.

[Claim 2] The semiconductor device according to claim 1 characterized by having the cladding layer of the 1st conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, the barrier layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, and the cladding layer of the 2nd conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor in this sequence on said single crystal substrate layer.

[Claim 3] Said buffer layer is a semiconductor device according to claim 1 or 2 characterized by consisting of a non-single crystal layer.

[Claim 4] Said buffer layer is a semiconductor device claims 1 and 2 characterized by consisting of an AlN layer, or given in three.

[Claim 5] Said buffer layer is a semiconductor device claims 1 and 2 characterized by consisting of an AlGaIn layer, or given in three.

[Claim 6] Said substrate layer is a semiconductor device claims 1, 2, 3, and 4 characterized by being a GaN layer, or given in five.

[Claim 7] Said substrate layer is a semiconductor device claims 1, 2, 3, and 4 characterized by being an AlGaIn layer, or given in five.

[Claim 8] The manufacture approach of the semiconductor device characterized by growing up the single crystal substrate layer which consists of a buffer layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor on a substrate, and an III-V group nitride system semi-conductor of undoping in the manufacture approach of a semiconductor device of manufacturing the semiconductor device which consists of an III-V group nitride system semi-conductor using vapor growth in this sequence.

[Claim 9] The manufacture approach of a semiconductor device according to claim 8 that growth temperature of a buffer layer which consists of said III-V group nitride system semi-conductor is characterized by being non-single crystal growth temperature.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a semiconductor device and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] Light emitting devices which consist of III-V group nitride system semi-conductors, such as GaN, AlGaIn, InGaIn, or InAlGaIn, such as light emitting diode and semiconductor laser, attract attention from luminescence of an ultraviolet region, especially blue luminescence being possible from blue with large luminescence

reinforcement by direct transition.

[0003] Drawing 4 is the type section Fig. showing the conventional III-V group nitride system semi-conductor light emitting diode.

[0004] For an InGaN barrier layer and 105, as for a p mold GaN contact layer and 107, a p mold AlGaIn cladding layer and 106 are [ the n mold GaN contact layer a GaN buffer layer and whose 103 101 are also n mold cladding layers as for a sapphire substrate and 102, and 104 / p lateral electrode and 108 ] n lateral electrodes among drawing 4 .

[0005] Each class of \*\*\*\* light emitting diode is formed as follows.

[0006] first, the sapphire substrate 101 top -- the growth temperature of 600 degrees C -- the GaN buffer layer 102 of a non-single crystal -- MOCVD -- it forms by law (metal-organic chemical vapor deposition)..

[0007] Next, in order to grow up the n mold GaN contact layer 103, a temperature up is carried out to the temperature of 1150 degrees C. This single-crystal-izes the GaN buffer layer 102, and a seed single crystal is grown up into a layer 102. Then, the n mold GaN contact layer 103 (growth temperature: 1150 degrees C), the InGaIn barrier layer 104 (growth temperature: 860 degrees C), the p mold AlGaIn cladding layer 105 (growth temperature: 1150 degrees C), and the p mold GaN contact layer 106 (growth temperature: 1150 degrees C) are grown up in this sequence by the MOCVD method on the GaN buffer layer 102 which has this seed single crystal.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, many pits (hole etc.) occur in the above-mentioned GaN buffer layer 102, front-face nature (surface morphology) is bad, a pit occurs in the growth phase 103 formed on this buffer layer 102, i.e., n mold contact layer, a barrier layer 104, p mold cladding layer 105, and p mold contact layer 106, and surface smoothness falls remarkably. Consequently, leakage current occurred and also especially the layer formed on the GaN buffer layer 102 was difficult for n-carrier concentration to become three or more [  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  ], and to form p mold in the state of undoping. Therefore, property degradation of hardly emitting light arose and there was a problem that the manufacture yield was very bad.

[0009] Such a problem is similarly produced, even if it replaces with a GaN layer and uses the AlN layer of a non-single crystal, and an AlGaIn layer as a buffer layer 2.

[0010] It is the purpose to offer the semiconductor device from which this invention is accomplished in view of an above-mentioned trouble, the number of pits is reduced and a flat growth phase is obtained, and its manufacture approach.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The semiconductor device of this invention is characterized by having the single crystal substrate layer which consists of a buffer layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor on a substrate, and an III-V group nitride system semi-conductor of undoping in this sequence in the semiconductor device which consists of an III-V group nitride system semi-conductor. The semiconductor device of this invention means photo detectors, such as light emitting devices, such as a wafer, light emitting diode, and semiconductor laser, and a photodiode, etc.

[0012] Furthermore, it is characterized by having the cladding layer of the 1st conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, the barrier layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, and the cladding layer of the 2nd conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor in this sequence on said single crystal substrate layer. In this case, it is used as light emitting devices, such as light emitting diode and semiconductor laser.

[0013] Said especially buffer layer is characterized by consisting of a non-single crystal layer.

[0014] Furthermore, said buffer layer is characterized by consisting of an AlN layer.

[0015] Furthermore, said buffer layer is characterized by consisting of an AlGaIn layer.

[0016] Furthermore, it is characterized by said substrate layer being a GaN layer.

[0017] Furthermore, it is characterized by said substrate layer being an AlGaIn layer.

[0018] Moreover, the manufacture approach of the semiconductor device of this invention is

characterized by growing up the single crystal substrate layer which consists of a buffer layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor on a substrate, and an III-V group nitride system semi-conductor of undoping in this sequence in the manufacture approach of a semiconductor device of manufacturing the semiconductor device which consists of an III-V group nitride system semi-conductor using vapor growth.

[0019] Growth temperature of a buffer layer which consists of said III-V group nitride system semi-conductor especially is characterized by being non-single crystal growth temperature.

[0020] Furthermore, as for said buffer layer, consisting of an AlGaIn layer may be desirable, and an AlN layer is sufficient.

[0021] Furthermore, as for said substrate layer, it is desirable that it is a GaN layer, and it is desirable also in an AlGaIn layer.

[0022] Furthermore, on said single crystal substrate layer, the cladding layer of the 1st conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, the barrier layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, and the cladding layer of the 2nd conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor may be formed by vapor growth in this sequence, and light emitting devices, such as light emitting diode and semiconductor laser, may be formed.

[0023] The cladding layer of the 1st and 2nd conductivity type of the above has an AlGaIn layer or a good GaN layer.

[0024] When the above-mentioned buffer layer consists of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ), as for 0.6 or less [ 0.5 or more ], one or less [ 0.4 or more ] is [ aluminum presentation ratio  $x$  ] at best still more desirable.

[0025] Moreover, the thickness of the above-mentioned  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) buffer layer has the very desirable 80Å or more range of 180Å or less, and 90Å or more 140Å or less has 90Å or more still more desirable still more desirable 160Å or less.

[0026] As a buffer layer, the  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $x$  is abbreviation 0.5) layer of 110-120Å of abbreviation is especially more preferably good 100Å or more 130Å or less thickness.

[0027] In order to control that a configuration element is especially desorbed from said barrier layer, it is desirable to form the cap layer which is close all over said barrier layer top, and consists of an III-V group nitride system semi-conductor. As for this cap layer, forming by vapor growth is desirable.

[0028] Said especially barrier layer may contain In and may consist of an InGaIn layer further.

[0029] As for said especially cap layer, it is desirable that a band gap is larger than said barrier layer. As for the band gap of this cap layer, it is more desirable that it is the middle magnitude of the band gap of a barrier layer and the cladding layer of the 2nd conductivity type.

[0030] Furthermore, as for said cap layer, it is desirable that it is an undoping layer.

[0031] Moreover, as for said cap layer, it is desirable to have the thickness more than the thickness which does not \*\*\*\* the quantum effectiveness.

[0032] Said especially cap layer is characterized by being a GaN layer.

[0033] Moreover, in the manufacture approach of a light emitting device of manufacturing the III-V group nitride system semi-conductor light emitting device which has the barrier layer which consists of InGaIn using vapor growth, the cap layer which consists of GaN at 700-degree-C or more growth temperature of 950 degrees C or less may be formed by vapor growth on said barrier layer.

[0034] furthermore, the crystal growth temperature of said cap layer is below the temperature that a barrier layer can single crystal grow -- good -- desirable -- the growth temperature of a barrier layer, and abbreviation -- it is the same temperature.

[0035] Since the time amount in which a configuration element may be desorbed from a barrier layer by following formation of said barrier layer and forming is almost lost, said cap layer is desirable.

[0036] as the above-mentioned vapor growth -- MOCVD -- law is desirable.

[0037]

[Embodiment of the Invention] The III-V group nitride system semi-conductor light emitting diode which is one gestalt of operation of this invention is explained to a detail using drawing 1.

[0038] The  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) non-single crystal buffer layer of undoping of  $t_A$  of thickness by which one was formed in the sapphire insulating substrate among drawing 1, and 2 was formed on the substrate 1, The GaN single crystal substrate layer of undoping of 0.2 micrometers of thickness by which 3 was formed on the buffer layer 2, The n mold GaN contact layer of Si dope which makes n mold cladding layer of 1.4 micrometers of thickness by which 4 was formed on the substrate layer 3 serve a double purpose, The  $\text{In}_q\text{Ga}_{1-q}\text{N}$  ( $q = 0.05$ ) barrier layer by which Zn and Si of 0.2 micrometers of thickness by which 5 was formed on n mold contact layer 4 were doped, The GaN cap layer of undoping of 200Å of thickness which prevents crystal degradation of the InGaN barrier layer 5 by which 6 was formed on the barrier layer 5, The p mold  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $z = 0.2$ ) cladding layer by which Mg of 0.15 micrometers of thickness with which 7 was formed on the cap layer 6 was doped, and 8 are the p mold GaN contact layers by which Mg of 0.3 micrometers of thickness formed on p mold cladding layer 7 was doped.

[0039] p lateral electrode which consists of Au by which 9 was formed in the part on p mold contact layer 8, and 10 are n lateral electrodes which consist of aluminum formed on n lateral electrode formation field which it was removed very much in the predetermined location in the layer of p mold contact layer 8 to n mold contact layer 4, and n mold contact layer 4 exposed.

[0040] The manufacture approach of \*\*\*\* light emitting diode is explained. With this operation gestalt, each class is formed by the organic metal chemical-vapor-deposition method (MOCVD law).

[0041] First, after installing a substrate 1 in organic metal chemical-vapor-deposition equipment, it changes into the condition of having held in the non-single crystal growth temperature of 600 degrees C, for example, growth temperature, (substrate temperature), and AlGa $\text{N}$  or the AlN buffer layer 2 of a non-single crystal is grown up on a substrate 1 as carrier gas, using ammonia, trimethylgallium (TMG), or trimethylaluminum (TMA) as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and material gas.

[0042] Then, on a buffer layer 2, it changes into single crystal growth temperature and the condition of having held preferably in growth temperature of 1000-1200 degrees C, for example, 1150 degrees C, and the GaN substrate layer 3 of undoping of a single crystal is grown up as carrier gas, using ammonia and trimethylgallium (TMG) as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and material gas.

[0043] Then, on the substrate layer 3, it is in single crystal growth temperature and the condition preferably held in growth temperature of 1000-1200 degrees C, for example, 1150 degrees C, and the n mold GaN contact layer 4 of Si dope of a single crystal is grown up as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and material gas as carrier gas, using  $\text{SiH}_4$  as ammonia, trimethylgallium (TMG), and dopant gas.

[0044] Next, on n mold contact layer 4, it changes into single crystal growth temperature and the condition of having held preferably in growth temperature of 700-950 degrees C, for example, 860 degrees C, and Si of a single crystal and the InGa $\text{N}$  barrier layer 5 of Zn dope are grown up as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and material gas as carrier gas, using  $\text{SiH}_4$  and diethylzinc (DEZ) as ammonia, triethylgallium (TEG), trimethylindium (TMI), and dopant gas.

[0045] Then, on the InGa $\text{N}$  barrier layer 5, it is in the condition held to single crystal growth temperature and the same desirable growth temperature as the 700-950 degrees C, for example, 860 degrees C, barrier layer 5, and the GaN cap layer 6 of undoping of a single crystal is grown up as carrier gas succeeding growth of a barrier layer 5, using ammonia and trimethylgallium (TMG) as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and material gas.

[0046] Then, it changes into single crystal growth temperature and the condition of having held preferably in growth temperature of 1000-1200 degrees C, for example, 1150 degrees C, and uses  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  (magnesium cyclopentadienyl) as ammonia, trimethylgallium (TMG), trimethylaluminum (TMA), and dopant gas as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and material gas as carrier gas on the GaN cap layer 6, and the p mold AlGa $\text{N}$  cladding layer 7 of Mg dope of a single crystal

is grown up.

[0047] Next, it changes into single crystal growth temperature and the condition of having held preferably in growth temperature of 1000-1200 degrees C, for example, 1150 degrees C, and uses  $\text{Cp}^*\text{Mg}$  (magnesium cyclopentadienyl) as ammonia, trimethylgallium (TMG), and dopant gas as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , and material gas as carrier gas on p mold cladding layer 7, and the p mold GaN contact layer 8 of Mg dope of a single crystal is grown up.

[0048] A substrate 1 is picked out from the above-mentioned equipment after the above-mentioned crystal growth, etching removal even of the layer middle of p mold contact layer 8 to n mold contact layer 4 is carried out by the reactant ion-beam-etching method (the RIE method), and n lateral electrode formation field which n mold contact layer 4 exposed is produced.

[0049] And while activating the dopant of p mold contact layer 8 and p mold cladding layer 7 and making it high carrier concentration, in order to recover crystal degradation by etching of n mold contact layer 4, heat treatment is performed for 30 - 60 minutes at 700-800 degrees C among nitrogen-gas-atmosphere mind.

[0050] Then, while forming the p lateral electrode 9 which consists of Au with vacuum deposition etc. on p mold contact layer 8, after forming the n lateral electrode 10 which consists of aluminum with vacuum deposition etc. on the above-mentioned n lateral electrode formation field of n mold contact layer 4, it heat-treats at 500 degrees C, ohmic contact of the n lateral electrodes 9 and 10 is carried out the p side, respectively, and the light emitting diode shown in drawing 1 is formed.

[0051] Drawing 2 is the above-mentioned light emitting diode production conditions and these conditions. On the sapphire substrate 1 The  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) non-single crystal layer of undoping of Thickness  $t$  as a buffer layer 2, The value of FWHM (half-value width) of the X-ray rocking curve which carried out X-ray irradiation of the GaN single crystal substrate layer 3 of undoping, and asked for it up to the substrate layer 3 of the wafer formed in this sequence is shown. And drawing 3 The value of FWHM of the X-ray rocking curve for which it asked by carrying out X-ray irradiation of the AlN non-single crystal layer of undoping of Thickness  $t$  and the GaN single crystal substrate layer 3 of undoping as a buffer layer 2 on the sapphire substrate 1 on these above-mentioned conditions to up to the substrate layer 3 of the wafer accomplished in this sequence is shown.

[0052] When this drawing 2 and drawing 3 to the buffer layer 2 consists of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ), as for 0.6 or less [ 0.5 or more ], one or less [ 0.4 or more ] is [ aluminum presentation ratio  $x$  ] at best still more desirable.

[0053] Moreover, since the above-mentioned  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) buffer layer 2 has the minimum point in [ 80A or more ] 180A or less, this range is very desirable and 90A or more 140A or less has 90A or more still more desirable still more desirable 160A or less.

[0054] As a buffer layer 2, the  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $x$  is abbreviation 0.5) layer of 110-120A of abbreviation is especially more preferably good 100A or more 130A or less thickness.

[0055] FWHM was good so that \*\*\*\* might show, moreover the pit was reduced and the GaN substrate layer 3 in which it was formed on the above-mentioned  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) buffer layer 2 had surface smoothness and very good surface morphology.

[0056] For example, as a buffer layer 2, there is no pit in each growth phase which grew on the substrate layer 3, and it excels in surface smoothness and front-face nature very much, and there is no generating of the poor property by the leakage current resulting from a pit, moreover good p type layer is obtained, and the light emitting diode using the  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$  layer of undoping of 110A of thickness has a very good manufacture yield.

[0057] Furthermore, in the light emitting diode of this operation gestalt, high power luminescence was realizable. The crystallinity of a barrier layer 5 is for \*\*\*\*\* well by the substrate layer 3 with the good reason.

[0058] By in addition, the configuration which has the GaN cap layer 6 of undoping formed in the InGaN barrier layer 5 by being close with this operation gestalt It is because it is controlled that In etc. is desorbed from a barrier layer 5, the number of the crystal defects of a barrier layer 5 decreases and crystalline degradation is controlled during formation of

a barrier layer 5, or after formation. Further The above-mentioned barrier layer 5 is because it was controlled that an impurity [ \*\*\*\* / un· ] is spread to this barrier layer 5, so it thinks since there are few crystal defects.

[0059] Furthermore, since it is the so-called undoping layer formed without using a dopant intentionally, and diffusion of the impurity [ \*\*\*\* / un· ] to a barrier layer 5 is fully controlled and a barrier layer 5 changes into a good condition further, the cap layer 6 of this operation gestalt can be attaining a high increase in power more. That is, since the impurity diffusion [ \*\*\*\* / un· ] to a barrier layer 5 is notably controlled by the diffusion depressor effect of the impurity to the barrier layer 5 by what in the case of this operation gestalt the desorption of the configuration element from a barrier layer 5 was controlled, and the number of crystal defects of a barrier layer 5 reduced, and both the effectiveness of the diffusion depressor effect of the impurity to the barrier layer 5 by the cap layer 6 being an undoping layer, a high increase in power is more realizable with effectiveness.

[0060] Thus, the variation in luminescence wavelength is small, a possibility of becoming misfire light does not almost have it, either, moreover, the light emitting diode of this operation gestalt has notably large luminescence reinforcement, and its manufacture yield is also very good.

[0061] on the other hand -- the non-single crystal GaN buffer layer of undoping of 200A of thickness (optimum value) on the sapphire substrate 1, and the GaN substrate layer of the single crystal of undoping of 1.2 micrometers of thickness -- MOCVD -- although FWHM of the X-ray rocking curve for which it asked by carrying out X-ray irradiation to up to the GaN substrate layer of the wafer which grew by law was able to acquire about 410 sec(s) and a very small value, many pits occurred and the component manufacture yield using this wafer was remarkably bad.

[0062] Moreover, also when the GaN non-single crystal buffer layer of undoping, the AlGaIn non-single crystal buffer layer of undoping, or the AlN non-single crystal buffer layer of undoping was used without using a substrate layer, the component manufacture yield was remarkably bad.

[0063] By the manufacture approach of an above-mentioned light emitting diode, after it is [ the buffer layer 2 of a non-single crystal ] close and forming it at non-single crystal growth temperature on a substrate 1, since adhesion formation of the GaN single crystal substrate layer 3 of undoping on a buffer layer 2 is carried out where temperature up maintenance is carried out at single crystal growth temperature, the number of pits can be reduced, and the single crystal substrate layer 3 in which crystallinity, front-face nature, and surface smoothness were very excellent can be formed. Consequently, since the crystallinity, surface smoothness, and front-face nature of each class formed on this substrate layer 3 become very good, p type layer good [ both ] whose yield improves is also obtained.

[0064] Since especially manufacture of \*\*\*\* light emitting diode can prevent the desorption of the configuration element from the InGaIn barrier layer 5 after it forms the cap layer 6 while it can control the desorption of the configuration element of the InGaIn barrier layer 5 in case it forms this cap layer 6 since it grows up the GaN cap layer 6 of undoping to be right above [ whole InGaIn barrier layer 5 surface ] below at the temperature in which the crystal growth of the InGaIn barrier layer 5 is possible, it is the desirable manufacture approach.

[0065] especially -- this operation gestalt -- the growth temperature of a barrier layer 5 and the cap layer 6 -- abbreviation -- since it grows up continuously as the same, the desorption of the configuration element from a barrier layer 5 can fully be controlled.

[0066] In addition, in \*\*\*\*, although it was larger than the case where there is no cap layer 6 when thickness of the cap layer 6 was made into 100A to the luminescence reinforcement when making thickness of the cap layer 6 into 200A being 340 (arbitration unit), luminescence reinforcement became 36 (arbitration unit) and abbreviation 1/10. Moreover, they were 0.8 times when 1.4 times when making thickness into 200A when thickness of the cap layer 6 is made into 300A, and thickness were made into 400A. This shows that the thickness of the cap layer 6 has desirable effectiveness by 200-400A, and it can be said that



more than the thickness of the thickness of the cap layer 6 that does not have the quantum effectiveness \*\*\*\*\* is desirable.

[0067] In addition, as a single crystal substrate layer 3 of undoping, although an AlGa<sub>N</sub> layer besides a Ga<sub>N</sub> layer is sufficient, an Al<sub>N</sub> layer is not desirable.

[0068] Next, III-V group nitride system semi-conductor luminescence die OO concerning the 2nd operation gestalt of this invention is explained.

[0069] As a cap layer 6, the point that this operation gestalt differs from the 1st gestalt is replaced with the Ga<sub>N</sub> layer of undoping, and is a point using the AluGa<sub>1-u</sub>N layer (1 u abbreviation 0. 0.2) of undoping of 200A of thickness. this AluGa<sub>1-u</sub>N layer -- MOCVD -- it forms by law -- having -- growth temperature -- single crystal growth temperature -- it is 700-950 degrees C, for example, 860 degrees C, preferably, and H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and material gas of carrier gas are ammonia, trimethylgallium (TMG), and trimethylaluminum (TMA).

[0070] Compared with the case where there is no cap layer 6 also in this case, luminescence reinforcement became large notably and its manufacture yield also improved.

[0071] However, compared with the time of presupposing that luminescence reinforcement in case the Ga<sub>N</sub> cap layer 6 of undoping is 200A is 450 (arbitration unit) with the 1st operation gestalt, the luminescence reinforcement in the case of being the AluGa<sub>1-u</sub>N cap layer 6 of undoping whose u is about 0.1 was 190 below one half (arbitration unit).

[0072] Furthermore, the luminescence reinforcement in the case of being the AluGa<sub>1-u</sub>N cap layer 6 of undoping whose u is about 0.2 was 1/3 in case u is 0.1.

[0073] It is good to make it smaller [ as for the magnitude of the band gap of the cap layer 6, it is desirable that it is between the band gaps of a barrier layer 5 and p mold cladding layer 7, and / moreover the cap layer 6 has most desirable Ga<sub>N</sub>, and ] than the band gap of p mold cladding layer 7, also when using an AluGa<sub>1-u</sub>N layer from an above-mentioned thing.

[0074] Moreover, although the barrier layer 5 is formed in right above [ n mold contact layer 4 ], an n mold AlGa<sub>N</sub> cladding layer may be made to intervene in \*\*\*\* between the above-mentioned n mold contact layer 4 and a barrier layer 5.

[0075] Although the barrier layer of the non-quantum well structure which is not quantum well structure as a barrier layer 5 was used with each above-mentioned operation gestalt Of course, single quantum well structure and multiplex quantum well structure may be used. for example, the single quantum well structure and the In<sub>s</sub>Ga<sub>1-s</sub>N (1> s> 0) quantum well layer which consist of an In<sub>s</sub>Ga<sub>1-s</sub>N (1> s> 0) quantum well layer, and an In<sub>r</sub>Ga<sub>1-r</sub>N (1>s>r>=0) quantum barrier layer -- since -- it is good also as becoming multiplex quantum well structure.

[0076] Although each above-mentioned operation gestalt described the light emitting device equipped with the semi-conductor layer on the insulating substrate, it may have a semi-conductor layer on conductive substrates, such as a SiC substrate, and you may make it the light emitting device which has an electrode on the maximum upper layer of this semi-conductor layer, and the inferior surface of tongue of a substrate.

[0077] Moreover, although the barrier layer and p mold cladding layer were formed in this sequence on n mold cladding layer by \*\*\*\*, you may make it form a barrier layer and n mold cladding layer in this sequence on p mold cladding layer, namely, \*\*\*\* is good also as a reverse conductivity type.

[0078] Moreover, with each above-mentioned operation gestalt, although the light emitting diode of double hetero structure was described, this invention is applicable also to the light emitting diode which consists of simple pn junction, and also applicable to semiconductor devices, such as photo detectors, such as light emitting devices, such as semiconductor laser other than light emitting diode, and a photodiode.

[0079] In addition, although 0.2-micrometer thickness was used as a substrate layer 3 in \*\*\*\*, it can change suitably in hundreds of A - thousands of A.

[0080]

[Effect of the Invention] Since the semiconductor device of this invention is equipped with the single crystal substrate layer which consists of a buffer layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor on a substrate, and an III-V group nitride system



semi-conductor of undoping in the semiconductor device which consists of an III-V group nitride system semi-conductor in this sequence, the number of pits reduces this single crystal substrate layer, and crystallinity, surface smoothness, and front-face nature become good. Consequently, while the crystallinity, surface smoothness, and front-face nature of the growth phase which consists of an III-V group nitride system semi-conductor formed on this single crystal become good, good p type layer is also obtained.

[0081] Therefore, the manufacture yield of a semiconductor device can be improved sharply. And when a semiconductor device is a light emitting device, a high optical output is possible.

[0082] When it has the cladding layer of the 1st conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, the barrier layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor, and the cladding layer of the 2nd conductivity type which consists of an III-V group nitride system semi-conductor in this sequence, while being able to abolish generating of the leakage current resulting from a pit and being able to improve the manufacture yield sharply on said single crystal substrate layer especially, light emitting devices, such as light emitting diode with large luminescence reinforcement and semiconductor laser, can be offered.

[0083] Since said especially buffer layer fully functions as a buffer layer when consisting of a non-single crystal layer, it can improve the manufacture yield notably.

[0084] Furthermore, said buffer layer can improve the manufacture yield more, when consisting of an AlN layer.

[0085] Said especially buffer layer can improve the manufacture yield more preferably, when consisting of an AlGaIn layer.

[0086] Furthermore, said substrate layer can improve the manufacture yield preferably, when it is a GaN layer.

[0087] Moreover, said substrate layer can improve the manufacture yield preferably, when it is an AlGaIn layer.

[0088] Moreover, in the manufacture approach of a semiconductor device of manufacturing the semiconductor device which consists of an III-V group nitride system semi-conductor using vapor growth, since the manufacture approach of the semiconductor device of this invention grows the single crystal substrate layer which consists of a buffer layer which consists of an III-V group nitride system semi-conductor on a substrate, and an III-V group nitride system semi-conductor of undoping in this sequence, it can make good the crystallinity of a single crystal substrate layer, and front-face nature. Consequently, since the crystallinity, surface smoothness, and front-face nature of the growth phase which consists of an III-V group nitride system semi-conductor formed on this single crystal substrate layer become good, the manufacture yield of a semiconductor device can be improved.

[0089] When the growth temperature of a buffer layer which consists of said III-V group nitride system semi-conductor especially is non-single crystal growth temperature, the manufacture yield of a semiconductor device can be improved preferably.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the type section Fig. of the light emitting diode of the 1st operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] In the wafer which carried out covering formation of the AlGaIn buffer layer of undoping on a substrate, and the GaN substrate layer of undoping at this order, it is drawing showing the relation between the thickness of a buffer layer, and FWHM of an X-ray rocking curve.

[Drawing 3] In the wafer which carried out covering formation of the AlN buffer layer of undoping on a substrate, and the GaN substrate layer of undoping at this order, it is drawing showing the relation between the thickness of a buffer layer, and FWHM of an X-ray rocking curve.

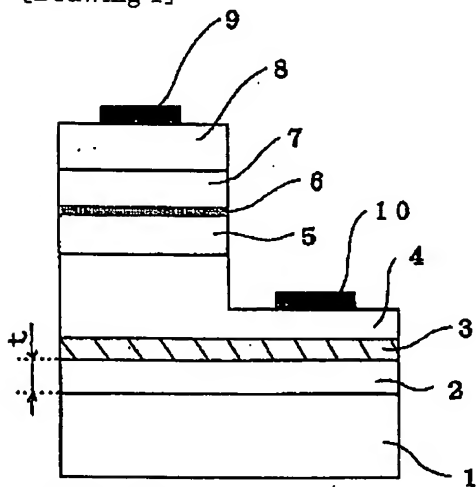
[Drawing 4] It is the type section Fig. of the conventional light emitting diode.

[Description of Notations]

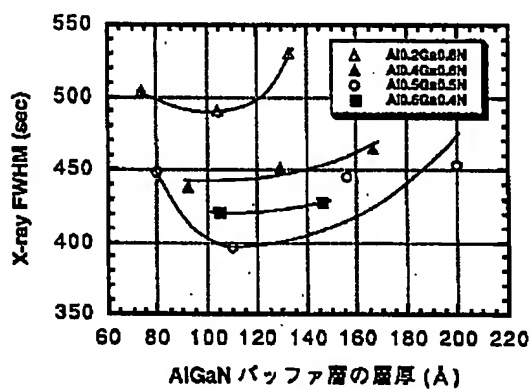
1 Substrate

- 2 AlGa<sub>0.2</sub>N Buffer Layer of Undoping
- 3 GaN Single Crystal Substrate Layer of Undoping
- 4 N Mold GaN Contact Layer (N Mold Cladding Layer)
- 5 InGa<sub>0.5</sub>N Barrier Layer
- 6 GaN Cap Layer of Undoping
- 7 P Mold AlGa<sub>0.5</sub>N Cladding Layer

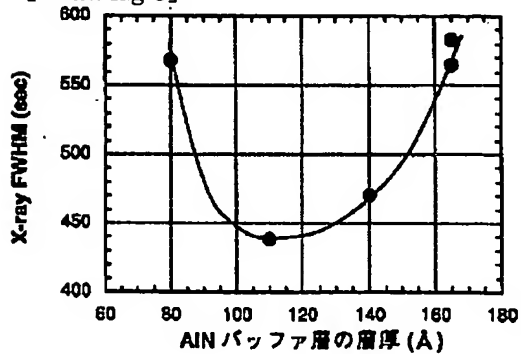
[Drawing 1]



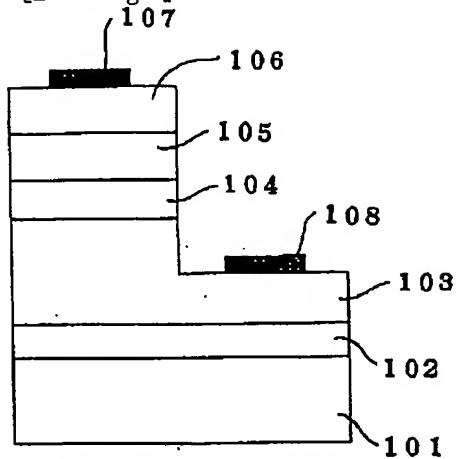
[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Drawing 4]



JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平 9-293897

(43)公開日 平成9年(1997)11月11日

(51)Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C
			21/20	
H 0 1 S 3/18			H 0 1 S 3/18	

審査請求 未請求 請求項の数9

O L

(全7頁)

(21)出願番号 特願平8-107834

(22)出願日 平成8年(1996)4月26日

(71)出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72)発明者 狩野 隆司

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(72)発明者 國里 竜也

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(72)発明者 上田 康博

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(74)代理人 弁理士 安富 耕二 (外1名)

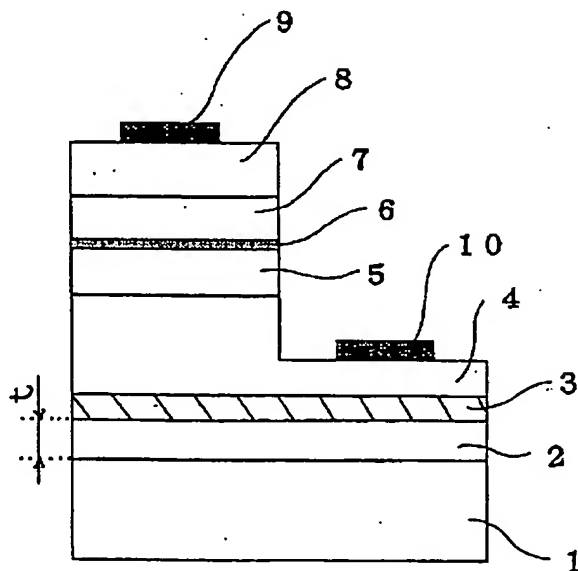
最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体素子とその製造方法

(57)【要約】

【課題】 ヒット数を低減し且つ平坦な成長層が得られる半導体素子とその製造方法を提供することが目的である。

【解決手段】 III-V族窒化物系半導体からなる半導体素子において、基板1上に、III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層2及びアンドープのIII-V族窒化物系半導体からなる単結晶下地層3をこの順序で備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 III-V族窒化物系半導体からなる半導体素子において、基板上に、III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層及びアンドープのIII-V族窒化物系半導体からなる単結晶下地層をこの順序で備えることを特徴とする半導体素子。

【請求項2】 前記単結晶下地層上に、III-V族窒化物系半導体からなる第1導電型のクラッド層、III-V族窒化物系半導体からなる活性層、及びIII-V族窒化物系半導体からなる第2導電型のクラッド層をこの順序で備えることを特徴とする請求項1記載の半導体素子。

【請求項3】 前記バッファ層は非単結晶層からなることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体素子。

【請求項4】 前記バッファ層はAlN層からなることを特徴とする請求項1、2、又は3記載の半導体素子。

【請求項5】 前記バッファ層はAlGaIn層からなることを特徴とする請求項1、2、又は3記載の半導体素子。

【請求項6】 前記下地層はGaIn層であることを特徴とする請求項1、2、3、4、又は5記載の半導体素子。

【請求項7】 前記下地層はAlGaIn層であることを特徴とする請求項1、2、3、4、又は5記載の半導体素子。

【請求項8】 III-V族窒化物系半導体からなる半導体素子を気相成長法を用いて製造する半導体素子の製造方法において、基板上に、III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層及びアンドープのIII-V族窒化物系半導体からなる単結晶下地層をこの順序で成長することを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項9】 前記III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層の成長温度が、非単結晶成長温度であることを特徴とする請求項8記載の半導体素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体素子とその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】GaIn、AlGaIn、InGaIn、又はInAlGaIn等のIII-V族窒化物系半導体からなる発光ダイオードや半導体レーザ等の発光素子は、直接遷移によって発光強度の大きい青色から紫外領域の発光、特に青色発光が可能なることから注目されている。

【0003】図4は従来のIII-V族窒化物系半導体発光ダイオードを示す模式断面図である。

【0004】図4中、101はサファイヤ基板、102はGaInバッファ層、103はn型クラッド層でもあるn型GaInコンタクト層、104はInGaIn活性層、105はp型AlGaInクラッド層、106はp型GaInコンタクト層、107はp側電極、108はn側電極

である。

【0005】斯る発光ダイオードの各層は以下のように形成される。

【0006】まず、サファイヤ基板101上に、600℃の成長温度で非単結晶のGaInバッファ層102をMOCVD法（有機金属気相成長法）により形成する。

【0007】次に、n型GaInコンタクト層103を成長するために温度1150℃まで昇温する。これによりGaInバッファ層102を単結晶化し、層102内に種単結晶を成長させる。その後、この種単結晶を有するGaInバッファ層102上に、n型GaInコンタクト層103（成長温度：1150℃）、InGaIn活性層104（成長温度：860℃）、p型AlGaInクラッド層105（成長温度：1150℃）、及びp型GaInコンタクト層106（成長温度：1150℃）をMOCVD法によりこの順序で成長する。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記GaInバッファ層102にはビット（穴等）が多数発生し、表面性（表面モフォロジー）が悪く、このバッファ層102上に形成した成長層、即ちn型コンタクト層103、活性層104、p型クラッド層105、及びp型コンタクト層106にビットが発生し、平坦性が著しく低下する。この結果、リーク電流が発生する他、特に、GaInバッファ層102上に形成した層はアンドープ状態でn-キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上となり、p型化することが困難であった。従って、殆ど発光しない等の特性劣化が生じ、製造歩留まりが非常に悪いという問題があった。

【0009】この様な問題は、バッファ層2として、GaIn層に代えて非単結晶のAlN層、AlGaIn層を用いても同様に生じる。

【0010】本発明は上述の問題点を鑑み成されたものであり、ビット数を低減し且つ平坦な成長層が得られる半導体素子とその製造方法を提供することが目的である。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体素子は、III-V族窒化物系半導体からなる半導体素子において、基板上に、III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層及びアンドープのIII-V族窒化物系半導体からなる単結晶下地層をこの順序で備えることを特徴とする。本発明の半導体素子は、ウェハ、発光ダイオードや半導体レーザなどの発光素子、フォトダイオードなどの受光素子等を意味する。

【0012】更に、前記単結晶下地層上に、III-V族窒化物系半導体からなる第1導電型のクラッド層、III-V族窒化物系半導体からなる活性層、及びIII-V族窒化物系半導体からなる第2導電型のクラッド層をこの順序で備えることを特徴とする。この場合、発光ダイオ

ード、半導体レーザなどの発光素子として使用される。

【0013】特に、前記バッファ層は非単結晶層からなることを特徴とする。

【0014】更に、前記バッファ層はAlN層からなることを特徴とする。

【0015】更に、前記バッファ層はAlGa<sub>1-x</sub>N層からなることを特徴とする。

【0016】更に、前記下地層はGa<sub>1-x</sub>N層であることを特徴とする。

【0017】更に、前記下地層はAlGa<sub>1-x</sub>N層であることを特徴とする。

【0018】また、本発明の半導体素子の製造方法は、III-V族窒化物系半導体からなる半導体素子を気相成長法を用いて製造する半導体素子の製造方法において、基板上に、III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層及びアンドープのIII-V族窒化物系半導体からなる単結晶下地層をこの順序で成長することを特徴とする。

【0019】特に、前記III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層の成長温度が、非単結晶成長温度であることを特徴とする。

【0020】更に、前記バッファ層はAlGa<sub>1-x</sub>N層からなることが好ましく、またAlN層でもよい。

【0021】更に、前記下地層はGa<sub>1-x</sub>N層であることが好ましく、AlGa<sub>1-x</sub>N層でも好ましい。

【0022】更に、前記単結晶下地層上に、III-V族窒化物系半導体からなる第1導電型のクラッド層、III-V族窒化物系半導体からなる活性層、及びIII-V族窒化物系半導体からなる第2導電型のクラッド層をこの順序で気相成長法で形成して、発光ダイオードや半導体レーザ等の発光素子を形成してもよい。

【0023】上記第1、第2導電型のクラッド層は、AlGa<sub>1-x</sub>N層又はGa<sub>1-x</sub>N層がよい。

【0024】上記バッファ層がAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0<x≤1) からなる場合、Al組成比xは0.4以上1以下がよく、更に好ましいのは、0.5以上0.6以下である。

【0025】また、上記Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0<x≤1) バッファ層の層厚は、80Å以上180Å以下の範囲が非常に好ましく、90Å以上160Å以下が更に好ましく、更に好ましいのは90Å以上140Å以下である。

【0026】特に、バッファ層としては、層厚100Å以上130Å以下、より好ましくは略110~120ÅのAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (xは略0.5) 層がよい。

【0027】特に、前記活性層から構成元素が脱離するのを抑制するために、前記活性層上全面に密接してIII-V族窒化物系半導体からなるキャップ層を形成することが好ましい。このキャップ層は気相成長法により形成するのが好ましい。

【0028】特に、前記活性層は、Inを含有し、更にInGa<sub>1-x</sub>N層からなってもよい。

【0029】特に、前記キャップ層は前記活性層よりバンドギャップが大きいことが好ましい。このキャップ層のバンドギャップは、活性層と第2導電型のクラッド層のバンドギャップの中間の大きさであるのがより好ましい。

【0030】更に、前記キャップ層はアンドープ層であることが好ましい。

【0031】また、前記キャップ層は量子効果を略有しない層厚以上の層厚を有することが好ましい。

【0032】特に、前記キャップ層は、Ga<sub>1-x</sub>N層であることを特徴とする。

【0033】また、InGa<sub>1-x</sub>Nからなる活性層を有するIII-V族窒化物系半導体発光素子を気相成長法を用いて製造する発光素子の製造方法において、前記活性層上に700℃以上950℃以下の成長温度でGa<sub>1-x</sub>Nからなるキャップ層を気相成長法により形成してもよい。

【0034】更に、前記キャップ層の結晶成長温度は、活性層が単結晶成長可能な温度以下であるのがよく、好ましくは活性層の成長温度と略同じ温度である。

【0035】前記キャップ層は前記活性層の形成に連続して形成するのが、活性層から構成元素が脱離しえる時間が殆どなくなるので好ましい。

【0036】上記気相成長法としては、MOCVD法が好ましい。

【0037】

【発明の実施の形態】本発明の実施の一形態であるIII-V族窒化物系半導体発光ダイオードを図1を用いて詳細に説明する。

【0038】図1中、1はサファイヤ絶縁基板、2は基板1上に形成された層厚tÅのアンドープのAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0<x≤1) 非単結晶バッファ層、3はバッファ層2上に形成された層厚0.2μmのアンドープのGa<sub>1-x</sub>N単結晶下地層、4は下地層3上に形成された層厚1.4μmのn型クラッド層を兼用するSiドープのn型Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層、5はn型コンタクト層4上に形成された層厚0.2μmのZn及びSiがドープされたIn<sub>q</sub>Ga<sub>1-q</sub>N (q=0.05) 活性層、6は活性層5上に形成されたInGa<sub>1-x</sub>N活性層5の結晶劣化を防止する層厚200ÅのアンドープのGa<sub>1-x</sub>Nキャップ層、7はキャップ層6上に形成された層厚0.15μmのMgがドープされたp型Al<sub>1-z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N (z=0.2) クラッド層、8はp型クラッド層7上に形成された層厚0.3μmのMgがドープされたp型Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層である。

【0039】9はp型コンタクト層8上の一部に形成されたAuからなるp側電極、10はp型コンタクト層8からn型コンタクト層4の層中の所定位置に至って除去されn型コンタクト層4が露出したn側電極形成領域上に形成されたAlからなるn側電極である。

【0040】斯る発光ダイオードの製造方法を説明す

る。本実施形態では有機金属化学気相成長法 (MOCVD法) により各層が形成される。

【0041】まず、有機金属化学気相成長装置内に基板1を設置した後、非単結晶成長温度、例えば600℃の成長温度 (基板温度) に保持した状態にして、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスとしてアンモニア、トリメチルガリウム (TMG)、又はトリメチルアルミニウム (TMA) を用い、基板1上に非単結晶のAlGa<sub>1-x</sub>N又はAlNバッファ層2を成長させる。

【0042】その後、バッファ層2上に、単結晶成長温度、好ましくは1000~1200℃、例えば1150℃の成長温度に保持した状態にして、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスとしてアンモニア、トリメチルガリウム (TMG) を用い、単結晶のアンドープのGa<sub>1-x</sub>N下地層3を成長させる。

【0043】続いて、下地層3上に、単結晶成長温度、好ましくは1000~1200℃、例えば1150℃の成長温度に保持した状態で、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスとしてアンモニア、トリメチルガリウム (TMG)、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>を用い、単結晶のSiドーパのn型Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層4を成長させる。

【0044】次に、n型コンタクト層4上に、単結晶成長温度、好ましくは700~950℃、例えば860℃の成長温度に保持した状態にして、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスとしてアンモニア、トリエチルガリウム (TEG)、トリメチルインジウム (TMI)、ドーパントガスとしてSiH<sub>4</sub>、ジエチル亜鉛 (DEZ) を用いて、単結晶のSi及びZnドーパのInGa<sub>1-x</sub>N活性層5を成長させる。

【0045】引き続き、InGa<sub>1-x</sub>N活性層5上に、単結晶成長温度、好ましくは700~950℃、例えば860℃の活性層5と同じ成長温度に保持した状態で、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスとしてアンモニア、トリメチルガリウム (TMG) を用い、活性層5の成長に連続して単結晶のアンドープのGa<sub>1-x</sub>Nキャップ層6を成長させる。

【0046】その後、Ga<sub>1-x</sub>Nキャップ層6上に、単結晶成長温度、好ましくは1000~1200℃、例えば1150℃の成長温度に保持した状態にして、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスとしてアンモニア、トリメチルガリウム (TMG)、トリメチルアルミニウム (TMA)、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、単結晶のMgドーパのp型AlGa<sub>1-x</sub>Nクラッド層7を成長させる。

【0047】次に、p型クラッド層7上に、単結晶成長温度、好ましくは1000~1200℃、例えば1150℃の成長温度に保持した状態にして、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスとしてアンモニア、トリメチルガリウム (TMG)、ドーパントガスとしてCp<sub>2</sub>Mg

(シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、単結晶のMgドーパのp型Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層8を成長させる。

【0048】上記結晶成長後、基板1を上記装置から取り出し、p型コンタクト層8からn型コンタクト層4の層途中までを反応性イオンビームエッチング法 (RIE法) によりエッチング除去して、n型コンタクト層4が露出したn側電極形成領域を作製する。

【0049】そして、p型コンタクト層8及びp型クラッド層7のドーパントを活性化して高キャリア濃度にすると共に、n型コンタクト層4のエッチングによる結晶劣化を回復するために、窒素雰囲気中、700~800℃で30~60分間熱処理を行う。

【0050】その後、p型コンタクト層8上にAuからなるp側電極9を蒸着法等により形成すると共に、n型コンタクト層4の上記n側電極形成領域上にAlからなるn側電極10を蒸着法等により形成した後、500℃で熱処理してp側、n側電極9、10をそれぞれオーミック接触させて、図1に示す発光ダイオードを形成する。

【0051】図2は、上記発光ダイオード作製条件と同条件で、サファイヤ基板1上に、バッファ層2として層厚 $t$ のアンドープのAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 1$ ) 非単結晶層、及びアンドープのGa<sub>1-x</sub>N単結晶下地層3をこの順序で形成したウエハの下地層3上へX線照射して求めたX線ロックアップカーブのFWHM (半値幅) の値を示し、図3は、上記同条件で、サファイヤ基板1上に、バッファ層2として層厚 $t$ のアンドープのAlN非単結晶層、及びアンドープのGa<sub>1-x</sub>N単結晶下地層3をこの順序で成したウエハの下地層3上へX線照射することにより求めたX線ロックアップカーブのFWHMの値を示す。

【0052】この図2及び図3から、バッファ層2がAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x \leq 1$ ) からなる場合には、Al組成比 $x$ は0.4以上1以下がよく、更に好ましいのは、0.5以上0.6以下である。

【0053】また、上記Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x \leq 1$ ) バッファ層2は、80Å以上180Å以下の範囲で極小点を有するので、この範囲が非常に好ましく、90Å以上160Å以下が更に好ましく、更に好ましいのは90Å以上140Å以下である。

【0054】特に、バッファ層2としては、層厚100Å以上130Å以下、より好ましくは略110~120ÅのAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $x$ は略0.5) 層がよい。

【0055】上記Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x \leq 1$ ) バッファ層2上の形成されたGa<sub>1-x</sub>N下地層3は、上述から判るようにFWHMがよく、しかもビットが低減され、平坦性及び表面モフォロジーが非常に良好であった。

【0056】例えば、バッファ層2として、層厚110ÅのアンドープのAl<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N層を用いた発光ダイオードは、下地層3上に成長された各成長層にはビットがなく、平坦性、表面性に非常に優れており、ビットに



起因したリーク電流による特性不良の発生がなく、しかも良好なp型層が得られ、製造歩留まりが非常によい。

【0057】更に、本実施形態の発光ダイオードでは高出力発光が実現できた。その理由は、良好な下地層3により活性層5の結晶性が良くなったためである。

【0058】加えて、本実施形態では、InGa<sub>x</sub>N活性層5に密接して形成されたアンドープのGa<sub>0.9</sub>Nキャップ層6を有する構成により、活性層5の形成中又は形成後に活性層5からIn等が脱離するのが抑制され、活性層5の結晶欠陥の数が低減し、結晶性の劣化が抑制されるためであり、更には、上記活性層5は結晶欠陥が少ないので、この活性層5へ不所望な不純物が拡散するのが抑制されたためと考えられるからである。

【0059】更に、本実施形態のキャップ層6は、故意にドーパントを使用することなく形成される、所謂アンドープ層であるので、活性層5への不所望な不純物の拡散が十分に抑制され、更に活性層5を良好な状態にできるため、より高出力化が図れている。即ち、本実施形態の場合、活性層5からの構成元素の脱離が抑制されて活性層5の結晶欠陥数の低減したことによる活性層5への不純物の拡散抑制効果と、キャップ層6がアンドープ層であることによる活性層5への不純物の拡散抑制効果の両効果により、活性層5への不所望な不純物拡散が顕著に抑制されるので、より高出力化が実現できるのである。

【0060】このように、本実施形態の発光ダイオードは、発光波長のバラツキが小さく、不発光になる恐れも殆どなく、しかも、発光強度が顕著に大きく、製造歩留まりも非常によい。

【0061】一方、サファイヤ基板1上に層厚200Å（最適値）のアンドープの非単結晶Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層及び層厚1.2μmのアンドープの単結晶のGa<sub>0.9</sub>N下地層をMOCVD法で成長したウエハのGa<sub>0.9</sub>N下地層上へX線照射することにより求めたX線ロックアップのFWHMは、約410secと非常に小さい値を得られたが、ビットが多数発生し、このウエハを用いた素子製造歩留まりは著しく悪かった。

【0062】また、下地層を用いずにアンドープのGa<sub>0.9</sub>N非単結晶バッファ層、アンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N非単結晶バッファ層、又はアンドープのAl<sub>0.1</sub>N非単結晶バッファ層を用いた場合も素子製造歩留まりは著しく悪かった。

【0063】上述の発光ダイオードの製造方法では、基板1上に非単結晶成長温度で非単結晶のバッファ層2を密接して形成した後、単結晶成長温度に昇温保持した状態でバッファ層2上にアンドープのGa<sub>0.9</sub>N単結晶下地層3を密着形成するので、ビット数を低減でき、結晶性、表面性、及び平坦性が非常に優れた単結晶下地層3を形成できる。この結果、この下地層3上に形成する各層の結晶性、平坦性、及び表面性が非常に良好になるので、

歩留まりが向上する共に、良好なp型層も得られる。

【0064】特に、斯る発光ダイオードの製造は、InGa<sub>x</sub>N活性層5全面直上に、アンドープのGa<sub>0.9</sub>Nキャップ層6をInGa<sub>x</sub>N活性層5の結晶成長可能な温度以下で成長するので、このキャップ層6を形成する際に、InGa<sub>x</sub>N活性層5の構成元素の脱離を抑制できると共に、キャップ層6を形成した後にInGa<sub>x</sub>N活性層5からの構成元素の脱離を防止できるので、好ましい製造方法である。

【0065】特に、本実施形態では、活性層5とキャップ層6の成長温度を略同じとして連続的に成長するので、活性層5からの構成元素の脱離を十分に抑制できる。

【0066】なお、上述では、キャップ層6の層厚を200Åとした時の発光強度が340（任意単位）であるのに対して、キャップ層6の層厚を100Åとした時は、キャップ層6がない場合よりは大きい、発光強度が36（任意単位）と略10分の1となった。また、キャップ層6の層厚を300Åとした時は、層厚を200Åとした時の1.4倍、層厚を400Åとした時は、0.8倍であった。このことから、キャップ層6の層厚は、200～400Åで好ましい効果があることが判り、キャップ層6の層厚は量子効果が略生じない層厚以上が好ましいと言える。

【0067】尚、アンドープの単結晶下地層3としては、Ga<sub>0.9</sub>N層のほか、Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層でもよいが、Al<sub>0.1</sub>N層は好ましくない。

【0068】次に、本発明の第2の実施形態に係るIII-V族窒化物系半導体発光ダイオードを説明する。

【0069】本実施形態が第1の形態と異なる点は、キャップ層6として、アンドープのGa<sub>0.9</sub>N層に代えて層厚200ÅのアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>1-u</sub>N層（uは略0.1、0.2）を用いた点である。このAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>1-u</sub>N層もMOCVD法により形成され、成長温度は、単結晶成長温度、好ましくは700～950℃、例えば860℃であり、キャリアガスはH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、原料ガスはアンモニア、トリメチルガリウム（TMG）、トリメチルアルミニウム（TMA）である。

【0070】この場合も、キャップ層6がない場合に比べて発光強度は顕著に大きくなり、製造歩留まりも向上した。

【0071】しかしながら、第1実施形態でアンドープのGa<sub>0.9</sub>Nキャップ層6が200Åの時の発光強度が450（任意単位）であるとした時に比べて、uが約0.1であるアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>1-u</sub>Nキャップ層6の場合の発光強度は、半分以下の190（任意単位）であった。

【0072】更に、uが約0.2であるアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>1-u</sub>Nキャップ層6の場合の発光強度は、uが0.1の場合の3分の1であった。

【0073】上述のことから、キャップ層6のバンドギャップの大きさは活性層5とp型クラッド層7のバンドギャップの間にあるのが好ましく、しかもキャップ層6はGa<sub>1-x</sub>Nが最も好ましく、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層を使用する場合にもp型クラッド層7のバンドギャップより小さくするのがよい。

【0074】また、上述では、n型コンタクト層4直上に活性層5を形成しているが、上記n型コンタクト層4と活性層5の間にn型AlGa<sub>1-x</sub>Nクラッド層を介在させてもよい。

【0075】上記各実施形態では、活性層5として量子井戸構造でない、非量子井戸構造の活性層を用いたが、勿論、単一量子井戸構造、多重量子井戸構造を用いてもよく、例えば、In<sub>s</sub>Ga<sub>1-s</sub>N (1>s>0) 量子井戸層からなる単一量子井戸構造、In<sub>s</sub>Ga<sub>1-s</sub>N (1>s>0) 量子井戸層とIn<sub>r</sub>Ga<sub>1-r</sub>N (1>s>r≥0) 量子障壁層をからなる多重量子井戸構造としてもよい。

【0076】上記各実施形態では、絶縁基板上に半導体層を備えた発光素子について述べたが、SiC基板等の導電性基板上に半導体層を備え、この半導体層の最上層と基板の下面に電極を有する発光素子にしてもよい。

【0077】また、上述では、n型クラッド層上に活性層、p型クラッド層をこの順序で形成したが、p型クラッド層上に活性層、n型クラッド層をこの順序で形成するようにしてもよく、即ち上述とは逆導電型としてもよい。

【0078】また、上記各実施形態では、ダブルヘテロ構造の発光ダイオードについて述べたが、本発明は単純なpn接合からなる発光ダイオードにも適用できる他、発光ダイオード以外の半導体レーザ等の発光素子、フォトダイオードなどの受光素子などの半導体素子にも応用できる。

【0079】尚、上述では下地層3として、0.2μmの層厚を用いたが、数百Å～数千Åの範囲で適宜変更可能である。

#### 【0080】

【発明の効果】本発明の半導体素子は、III-V族窒化物系半導体からなる半導体素子において、基板上に、II-V族窒化物系半導体からなるバッファ層及びアンドープのIII-V族窒化物系半導体からなる単結晶下地層をこの順序で備えるので、この単結晶下地層はビット数が低減し、結晶性、平坦性、及び表面性が良好になる。この結果、この単結晶上に形成されるIII-V族窒化物系半導体からなる成長層の結晶性、平坦性、及び表面性が良好となると共に、良好なp型層も得られる。

【0081】従って、半導体素子の製造歩留まりを大幅に向上できる。そして、半導体素子が発光素子の場合、高い光出力が可能である。

【0082】特に、前記単結晶下地層上に、III-V族窒化物系半導体からなる第1導電型のクラッド層、III

-V族窒化物系半導体からなる活性層、及びIII-V族窒化物系半導体からなる第2導電型のクラッド層をこの順序で備える場合、ビットに起因したリーク電流の発生をなくすことができ、製造歩留まりを大幅に向上できると共に、発光強度の大きい発光ダイオードや半導体レーザなどの発光素子を提供できる。

【0083】特に、前記バッファ層は非単結晶層からなる場合に、バッファ層として十分に機能するので、製造歩留まりを顕著に向上できる。

10 【0084】更に、前記バッファ層はAlN層からなる場合、製造歩留まりをより向上できる。

【0085】特に、前記バッファ層はAlGa<sub>1-x</sub>N層からなる場合、製造歩留まりをより好ましく向上できる。

【0086】更に、前記下地層はGa<sub>1-x</sub>N層である場合、製造歩留まりを好ましく向上できる。

【0087】また、前記下地層はAlGa<sub>1-x</sub>N層である場合、製造歩留まりを好ましく向上できる。

【0088】また、本発明の半導体素子の製造方法は、III-V族窒化物系半導体からなる半導体素子を気相成長法を用いて製造する半導体素子の製造方法において、基板上に、III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層及びアンドープのIII-V族窒化物系半導体からなる単結晶下地層をこの順序で成長するので、単結晶下地層の結晶性及び表面性を良好にできる。この結果、この単結晶下地層上に形成されるIII-V族窒化物系半導体からなる成長層の結晶性、平坦性、及び表面性が良好となるので、半導体素子の製造歩留まりを向上できる。

【0089】特に、前記III-V族窒化物系半導体からなるバッファ層の成長温度が、非単結晶成長温度である場合、好ましく半導体素子の製造歩留まりを向上できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態の発光ダイオードの模式断面図である。

【図2】基板上にアンドープのAlGa<sub>1-x</sub>Nバッファ層及びアンドープのGa<sub>1-x</sub>N下地層をこの順に被着形成したウエハにおいて、バッファ層の層厚とX線ロックアップカーブのFWHMの関係を示す図である。

40 【図3】基板上にアンドープのAlNバッファ層及びアンドープのGa<sub>1-x</sub>N下地層をこの順に被着形成したウエハにおいて、バッファ層の層厚とX線ロックアップカーブのFWHMの関係を示す図である。

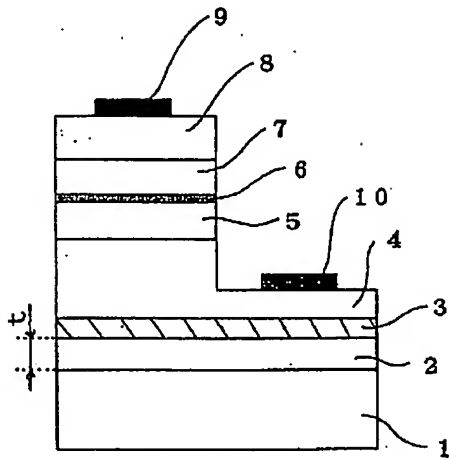
【図4】従来の発光ダイオードの模式断面図である。

#### 【符号の説明】

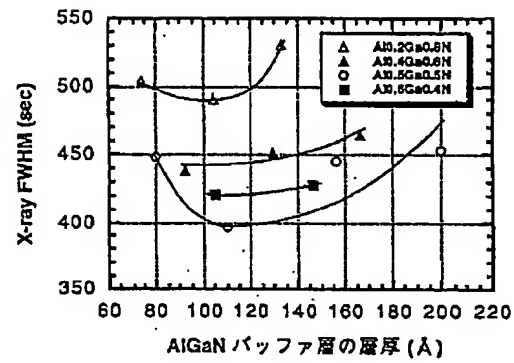
- 1 基板
- 2 アンドープのAlGa<sub>1-x</sub>Nバッファ層
- 3 アンドープのGa<sub>1-x</sub>N単結晶下地層
- 4 n型Ga<sub>1-x</sub>Nコンタクト層 (n型クラッド層)
- 5 InGa<sub>1-x</sub>N活性層
- 50 6 アンドープのGa<sub>1-x</sub>Nキャップ層

7 p型AlGaInクラッド層

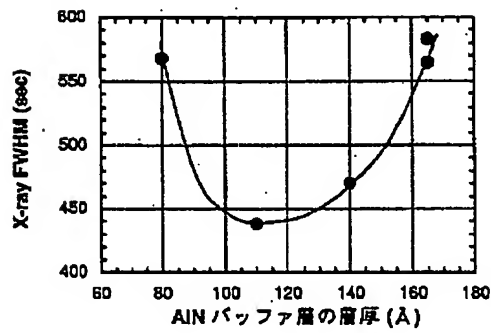
【図1】



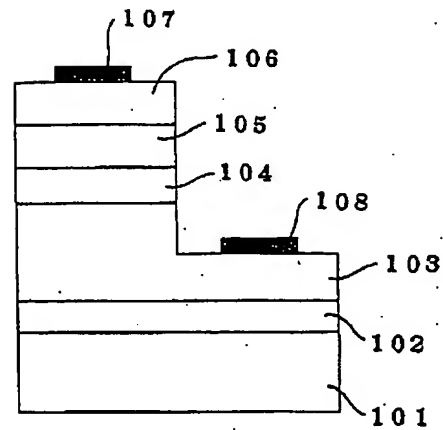
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 松下 保彦

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三  
洋電機株式会社内

(72)発明者 八木 克己

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三  
洋電機株式会社内